

令和元年6月11日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18831

研究課題名（和文）ダブルパルスフェムト秒レーザーによる透明基板の光トリガー加工に関する研究

研究課題名（英文）Laser processing for transparent substrate using double pulse femto second laser beam with photo excitation

研究代表者

林 照剛（Terutake, Hayashi）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00334011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、低照度の近赤外フェムト秒レーザーを用いて合成石英表面の薄膜をアブレーションし、直近の合成石英基板を高効率に微細加工する技術を確認することを目指している。研究期間中に実施した実験では、カーボン薄膜を塗布した合成石英基板の加工現象を調査するため、様々なフェムト秒レーザー照射条件で、基板加工面の加工後の状態の観察を行い、カーボン薄膜付き合成石英基板の加工閾値を測定しカーボン膜を塗布した合成石英と塗布していない合成石英に対し、パルス間隔を変化させながらダブルパルス加工を行った結果、パルス間隔が1ps以上の場合、加工閾値が上昇し、加工領域の減少がみられることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、省エネルギー社会の要請に応えるべく、パワー半導体デバイスの製造に用いられる透明基板材料を、低光子エネルギービームでレーザー加工する技術の開発に挑戦する。本研究課題の遂行により、従来、光吸収性の問題でレーザー加工が困難とされる透明基板材料を簡便に、高精度に加工する技術が確立すれば、その工業的な価値は高く、レーザー加工の工業適用途が大きく広がると考えられ、その社会的意義は大きい。また、透明基板材料のレーザー加工プロセスについての研究はまだ、その過程が詳細に解明されているとはいえないことから、レーザー加工の分野において果たす学術的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We investigate the ablation dynamics for the transparent target during the instant photo excitation. The fundamental experiment was performed to process the fused silica target by using low fluency laser beam. Carbon thin layer is coated on the fused silica target to generate the photo excitation area on the substrate when the femtosecond laser is irradiate on the target. The damage threshold is compared with the fused silica target with the target which coated on the carbon thin layer. It is confirmed that the damage threshold becomes lower with help of the carbon thin layer to generate the photo excitation area on the surface of the substrate.

研究分野：光応用加工，計測

キーワード：フェムト秒レーザー 透明基板 光励起 アブレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、省エネルギー社会への転換を促す社会的な要請が強く、電力変換を行うパワー半導体デバイス等の重要性が高まってきている。そのため、高い熱伝導度、絶縁破壊電界強度を持つ SiC、GaN などのワイドバンドギャップ半導体やサファイヤなどの透明基板を半導体デバイスに加工する技術の効率化が強く求められている。筆者らはこれまで、フェムト秒レーザー加工に関する研究を通じ、半導体や誘電体材料の表面にフェムト秒レーザーを照射すると、光励起により材料の加工特性が変化することを確認している。本申請では、これらの知見に基づき「高強度電場が生み出す物質との相互作用」を利用して「難加工性透明基板材料」をレーザー加工する新たな技術案を提案し、フェムト秒レーザーによる透明基板の光トリガー加工に関する研究に挑戦する。

2. 研究の目的

本研究課題では、光吸収性の低い合成石英基板をレーザー加工するため、基板表面にカーボン薄膜で光吸収層を形成し、フェムト秒レーザーを照射して、光トリガーとしての瞬間的な冷気現象を誘起し、光冷気面を加工する新たな光励起加工法を提案している。本研究では、低照度の近赤外フェムト秒レーザーを用いて合成石英表面の薄膜をアブレーションし、直近の合成石英基板を高効率に微細加工する技術を確立することを目指している。

本研究課題では、カーボン薄膜を塗布した合成石英基板の加工現象を調査し、様々なフェムト秒レーザー照射条件で、基板加工面の加工後の状態の観察を行い、カーボン薄膜付き合成石英基板の加工閾値を測定し、加工現象観察のための基板のレーザー加工条件の確認と、また、加工後の基板の加工痕を観察し、基板加工中に生じる加工現象について検討した。

3. 研究の方法

上述の加工現象について調査するため、カーボン膜をコーティングした合成石英基板に、近赤外フェムト秒レーザーを照射し、時間的に近接した二つのピークを持つダブルパルスビームを用いて、レーザー加工を行い、X線プロブ計測に最適な合成石英の加工条件を検討する。まず、カーボン膜(C膜)を塗布した合成石英と塗布していない合成石英をシングルパルスビームで加工し、カーボン膜の有無による加工閾値の違いを調べた。以後、C膜を塗布した合成石英を C:SiO₂、塗布していない合成石英を SiO₂ と記載する。また、次に、ダブルパルスビーム照射時のカーボン光吸収層の光励起効果を調べるために、C:SiO₂ に対し、ダブルパルスビームを照射し、第一パルスと第二パルスの時間間隔を変化させ、加工閾値の変化を計測した。

本実験では、加工対象としてシグマ光機社の合成石英平行平面基板(直径 25mm 厚さ 3mm 面精度 /10)を用いた。C膜を塗布したことによる加工閾値の変化を調べるため、上記の基板にカーボンコート(SC-701: サンヨー電子(株))を用いてC膜を 10~15nm 塗布し、C:SiO₂ と SiO₂ にシングルパルスを照射した。この時、照射するフルエンスを 1500~7500mJ/cm² の間で変化させた。その後、加工痕を共焦点レーザー顕微鏡(CLSM: OLS 4100, OLYMPUS(株))により観察し加工閾値を計測した。また、光励起効果を調べるために C:SiO₂ にパルス間隔を 0.1ps, 0.5ps, 1ps, 5ps, 10ps, 20ps, 50ps, 80ps, 100ps, 150ps, 200ps に設定しダブルパルスを照射し、加工痕を共焦点レーザー顕微鏡(CLSM: OLS 4100, OLYMPUS(株))により観察し加工閾値を計測した。

4. 研究成果

Fig.1 に C:SiO₂, SiO₂ に対して、照射するフルエンスを 1500~7500mJ/cm² の間で変化させながらシングルパルスを照射したときの加工閾値を計測したものを示す。C膜を塗布した場合、塗布していない場合よりも低いフルエンスで加工が可能ながわかった。SiO₂ の加工閾値が平均 3160mJ/cm² に対し、C:SiO₂ の加工閾値は平均 1290mJ/cm² だった。C膜の塗布により、合成石英の加工閾値の 59.1%の低下が見られた。

Fig.2 に C:SiO₂ に、ダブルパルスを照射したときの加工閾値の変化を計測したものを示す。パルス間隔が 0.1~1ps では、シングルパルス加工での加工閾値に対し、ダブルパルス加工での加工閾値は同程度である。パルス間隔が 1ps 以上から加工閾値は徐々に上昇している。このとき、加工閾値の上昇に従って、加工領域の増加が見られた。パルス間隔 100ms でレーザーパルスを二発照射した実験では、SiO₂ 部分の加工が見られなかった。このことから、C:SiO₂ へのダブルパルス加工では、1ps 後までは継続し、その後、収束していく励起現象が生じたと考えられる。

以上から、カーボン膜を塗布した合成石英と塗布していない合成石英に対しシングルパルス加工を行った結果、C膜を塗布することで合成石英の加工閾値が 59.1%低下することを確認した。C膜を塗布した合成石英に対し、パルス間隔を変化させながらダブルパルス加工を行った結果、パルス間隔が 1ps 以上の場合、加工閾値が上昇し、加工領域の減少がみられた。

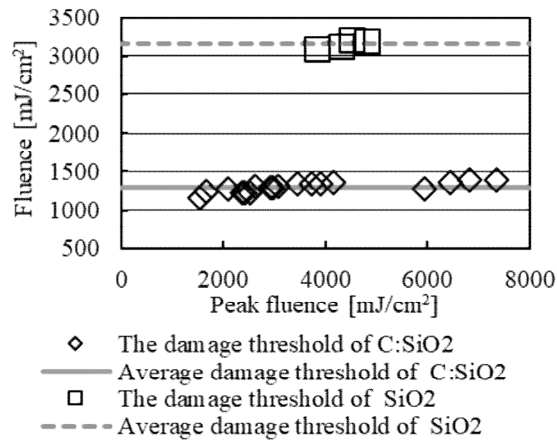


Fig. 1 C:SiO₂ and SiO₂ damage threshold of single pulse processing each peak fluence

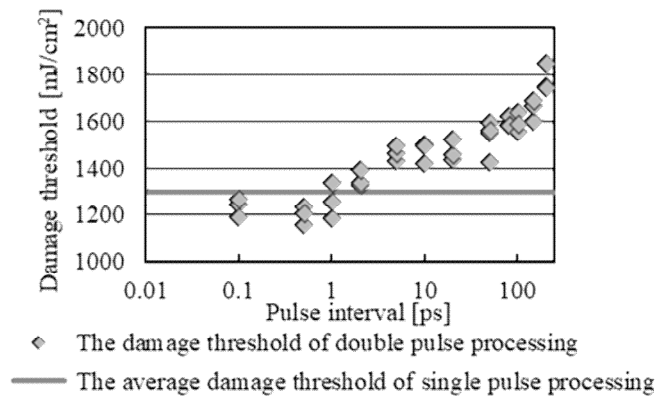


Fig.2 C:SiO₂ damage threshold of double pulse processing each pulse interval

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 3 件)

(1)Keigo MATSUNAGA, Terutake HAYASHI, Syuhei KUROKAWA, Hideaki YOKOO, Noboru HASEGAWA, Masaharu NISHIKINO, Yoji MATSUKAWA, Dynamics of photo-excitation for the ablation of 4H-SiC substrate using femtosecond laser, Proceedings of the 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), 2017, D08

(2)松永啓伍, 林照剛, 黒河周平, 廣津佑紀, 松川洋二, 長谷川登, 錦野将元, フェムト秒レーザを用いたダブルパルスビームによる励起状態面の表面加工に関する研究(第九報) 加工変質層の元素組成評価, 2018 年度精密工学会春期全国大会, 2018, C75

(3)廣津佑紀, 林照剛, 黒河周平, 水町遼祐, 松川洋二, フェムト秒レーザによる膜付き絶縁体に対する光励起加工に関する研究, 精密工学会九州支部, 2018 年度北九州地方講演会, Published in USB.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：黒河周平

ローマ字氏名：Syuhei Kurokawa

所属研究機関名：九州大学

部局名：大学院工学研究院

職名：教授

研究者番号(8桁)：90243899

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：